

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-230400

(43)Date of publication of application : 05.09.1997

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
H01S 3/094
H01S 3/10

(21)Application number : 08-037657

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 26.02.1996

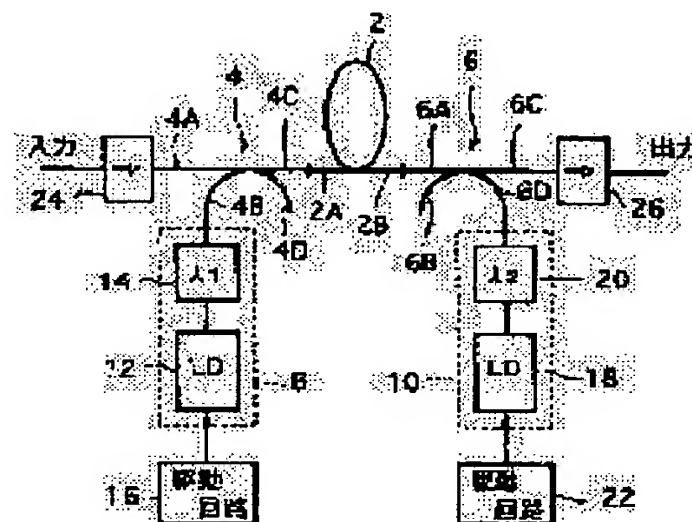
(72)Inventor : SUGAYA YASUSHI

(54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an optical fiber amplifier without stabilizing gain due to two way pumping by making a first wavelength of a first pump light different from a second wavelength of a second pump light.

SOLUTION: This amplifier is provided with a dope fiber 2 having a first end 2A and a second end 2B respectively corresponding to an upper stream side and a lower stream side of a signal light propagation direction, optical couplers 4 and 6 of WDM type respectively connected to the first end 2A and the second end 2B of the dope fiber, and pump light sources 8 and 10 respectively connected to the optical coupler 4 and 6. The pump light source 8 consists of a laser diode 12 oscillating a laser beam of a wavelength 0.98 μ m band and a reflection type device 14. The pump light source 10 consists of a laser diode 18 oscillating a laser beam of a wavelength 0.98 μ m band and a reflection type device 20. Wavelengths of the pump light source 8 and 10 are included in the same pump band, but wavelengths are different each other. Therefore, the pump light source 8 and 10 are not affected by the other pump light source.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

1044/4

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-230400

(43) 公開日 平成9年(1997)9月5日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1
H 0 1 S 3/094			H 0 1 S 3/10	Z
3/10			3/094	S

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-37657

(22) 出願日 平成8年(1996)2月26日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 菅谷 靖

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

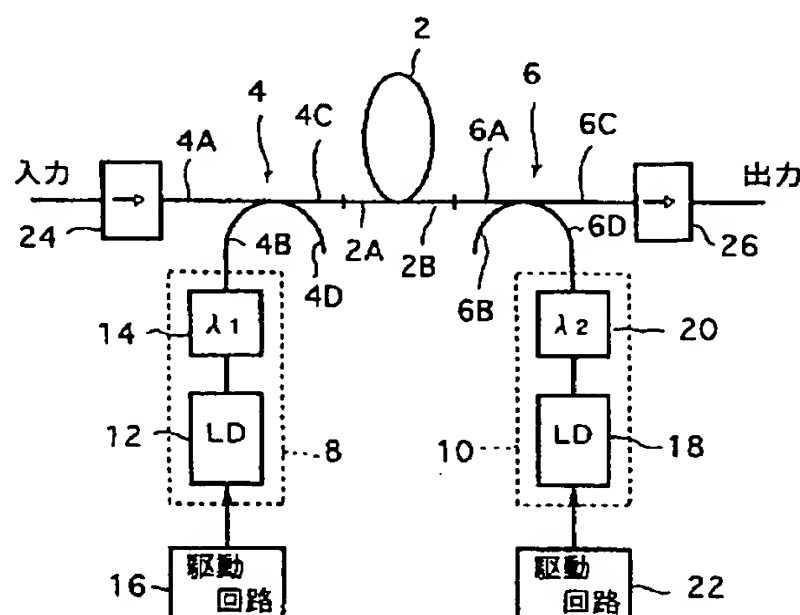
(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 本発明は希土類元素がドープされたドープファイバを有する光ファイバ増幅器に関し、双方向ポンピングにより利得が不安定にならないようにすることを課題としている。

【解決手段】 ドープファイバ2と、ドープファイバ2が信号光の波長を含む利得帯域(1.55 μ m帯)を有するように決定されるポンプ帯域(0.98 μ m帯)に含まれる第1の波長を有する第1のポンプ光を出力するポンプ光源8と、ポンプ帯域に含まれるが第1の波長とは異なる第2の波長を有する第2のポンプ光を出力するポンプ光源10と、第1及び第2のポンプ光をドープファイバ2に供給するための光カプラ4及び6とから構成する。

第1実施形態を示すブロック図



SEI 99-41
CN
03.11.-7
CA

THIS PAGE BLANK (USPTO)

3

上記第1の分岐光を供給され上記利得帯域に含まれる第1の通過帯域を有する第1の光帯域通過フィルタと、
上記第2の分岐光を供給され上記利得帯域に含まれるが上記第1の通過帯域とは異なる第2の通過帯域を有する第2の光帯域通過フィルタと、

上記第1及び第2の光帯域通過フィルタから出力した光をそれぞれ光／電気変換する第1及び第2のフォトディテクタとを含み、

上記第1及び第2のポンプ光源はそれぞれ第1及び第2のレーザダイオードを含み、

該第1及び第2のレーザダイオードにはそれぞれ第1及び第2のバイアス電流が供給され、

上記制御する手段は上記第1及び第2のフォトディテクタの出力信号の比が一定になるように上記第1及び第2のバイアス電流の少なくともいずれか一方を制御する光ファイバ増幅器。

【請求項15】 請求項1に記載の光ファイバ増幅器であって、

上記第1の波長と上記第2の波長の差は5nmに等しいかそれよりも大きい光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般的に希土類元素がドープされたドープファイバを有する光ファイバ増幅器に関し、更に詳しくはドープファイバの第1端及び第2端からそれぞれポンプ光が供給される双方向ポンピング型の光ファイバ増幅器に関する。

【0002】マルチメディアネットワークの進展に伴い情報需要は飛躍的に増大し、伝送システムにおいてはさらなる大容量化及び柔軟なネットワーク形成が求められている。波長分割多重(WDM)はこのようなシステム需要に対応するためのものとして有望であり、WDMに適した高性能な光ファイバ増幅器が要望されている。

【0003】

【従来の技術】エルビウム(Er)等の希土類元素がドープされたドープファイバを有する光ポンピング型の光増幅器が知られている。あらかじめ定められた波長のポンプ光がドープファイバにその第1端及び第2端の少なくともいずれか一方から供給され、このようにして光ポンピングされているドープファイバの第1端に信号光が供給されると、増幅された信号光がドープファイバの第2端から出力される。

【0004】フォワードポンピングでは、ポンプ光は信号光と同じ向きに第1端からドープファイバに供給される。バックワードポンピングでは、ポンプ光は信号光とは逆に第2端からドープファイバに供給される。双方向ポンピングでは、ポンプ光は第1端及び第2端の双方からドープファイバに供給される。

【0005】波長が1.55 μ m帯の信号光に対しては、ドープファイバのドープメントとしてエルビウムが有

4

望である。この場合、0.98 μ m帯のポンプ光による双方向ポンピングにより、低雑音指数で且つ高い励起率(反転分布率)の特性が得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように双方向ポンピングは高品質な光ファイバ増幅器を提供するための有用な技術の1つであるが、双方向ポンピングを行う場合、一方のポンプ光源が他方のポンプ光源からのポンプ光の影響を受け、光ファイバ増幅器の利得が不安定になることがあるという問題がある。

【0007】よって、本発明の目的は、双方向ポンピングにより利得が不安定になることがない光ファイバ増幅器を提供することにある。本発明の他の目的は、以下の説明から明らかになる。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によると、希土類元素がドープされ第1端及び第2端を有するドープファイバと、第1の波長を有する第1のポンプ光を出力する第1のポンプ光源と、第2の波長を有する第2のポンプ光を出力する第2のポンプ光源とを備えた光ファイバ増幅器が提供される。

【0009】第1及び第2の波長は互いに異なるが同じポンプ帯域に含まれる。ポンプ帯域は、ドープファイバが信号光の波長を含む利得帯域を有するように決定される。信号光の波長が1.55 μ m帯にある場合、ドープファイバのドープメントとしてはエルビウムが適しており、この場合、低雑音指数及び高ポンピング効率を得るために、ポンプ帯域は望ましくは0.98 μ m帯である。高出力パワーの光ファイバ増幅器を得るために、ポンプ帯域を1.48 μ m帯にしてもよい。

【0010】第1の光カプラはドープファイバの第1端及び第1のポンプ光源に動作的に接続される。第1の光カプラは、信号光及び第1のポンプ光を受けこれらを第1端からドープファイバに供給する。

【0011】第2の光カプラはドープファイバの第2端及び第2のポンプ光源に動作的に接続される。第2の光カプラは、第2のポンプ光を受けこれを第2端からドープファイバに供給する。

【0012】本発明の光ファイバ増幅器では、第1のポンプ光の第1の波長と第2のポンプ光の第2の波長とを異ならせているので、第1及び第2の波長が同じポンプ帯域に含まれているにもかかわらず、第1のポンプ光源は第2のポンプ光の影響を受けることなくまた第2のポンプ光源は第1のポンプ光の影響を受けることなく、利得が安定化される。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の望ましい実施の形態を添付図面に沿って詳細に説明する。図1は本発明の第1実施形態を示す光ファイバ増幅器のブロック図である。この光ファイバ増幅器は、信号光伝搬方向の上流側

及び下流側にそれぞれ対応する第1端2A及び第2端2Bを有するドープファイバ2と、ドープファイバの第1端2A及び第2端2Bにそれぞれ接続されるWDM型の光カプラ4及び6と、光カプラ4及び6にそれぞれ接続されるポンプ光源8及び10とを備えている。

【0014】以下の説明では、ドープファイバ2のドープはエルビウムであるとし、信号光の波長は $1.55\mu\text{m}$ 帯にあるものとする。光カプラ4は4つのポート4A、4B、4C及び4Dを有しており、これらのうちポート4Dは無反射終端されている。光カプラ4は、ポート4Aに供給された波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光をポート4Cから出力し、ポート4Bに供給された波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯の光をポート4Cから出力するように機能する。ポート4Cはドープファイバ2の第1端2Aに接続される。

【0015】光カプラ6は4つのポート6A、6B、6C及び6Dを有しており、これらのうちポート6Bは無反射終端されている。光カプラ6は、ポート6Aに供給された波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光をポート6Cから出力し、ポート6Dに供給された波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯の光をポート6Aから出力するように機能する。

【0016】光カプラ6のポート6Aはドープファイバ2の第2端2Bに接続される。ポンプ光源8は、波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯でレーザ発振するレーザダイオード12と、レーザダイオード12及び光カプラ4のポート4B間に設けられる反射型光デバイス14とからなる。レーザダイオード12には駆動回路16から直流の或いは制御された駆動電流（バイアス電流）が与えられている。

【0017】ポンプ光源10は、波長 $0.98\mu\text{m}$ 帯でレーザ発振するレーザダイオード18と、レーザダイオード18及び光カプラ6のポート6D間に設けられる反射型光デバイス20とからなる。レーザダイオード18には駆動回路22から直流の或いは制御された駆動電流が与えられている。

【0018】増幅すべき信号光は光アイソレータ24を介して光カプラ4のポート4Aに供給される。ドープファイバ2内で増幅された信号光は、光カプラ6のポート6Cから光アイソレータを通して出力される。

【0019】図2を参照すると、反射型光デバイス14及び20の特性が示されている。縦軸は反射率（％）であり、横軸は波長（nm）である。反射型光デバイス14は、符号28で示されるように、波長 λ_1 を中心波長とする狭帯域な波長選択性を有している。反射型光デバイス20は、符号30で示されるように、波長 λ_2 （ $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ）を中心波長とする狭帯域な波長選択性を有している。

【0020】波長 λ_1 及び λ_2 は、エルビウムドープファイバ（EDF）に対していくつか与えられるポンプ帯域の1つであるところの $0.98\mu\text{m}$ 帯内にあり、デチューニング量（ $|\lambda_1 - \lambda_2|$ ）は望ましくは 5nm 以

上に設定される。

【0021】図2では波長 λ_2 が長波長側に図示されているが、波長 λ_1 及び λ_2 の大小関係は任意である。図3の（A）及び（B）はポンプ光源のスペクトルを示す図である。例えばポンプ光源8において、レーザダイオード12の出力光は、図3の（A）に示されるように比較的広いスペクトルを有している。これに対して、反射型光デバイス14からドープファイバ2へ供給されるポンプ光は、図3の（B）に示されるように比較的狭いスペクトルを有している。

【0022】このような波長の固定、即ちスペクトルの狭窄化を行うための反射型光デバイスとしては、例えばブラッグ反射グレーティングファイバを用いることができる。誘電体多層膜等の干渉用の光学膜を用いて反射型光デバイスを構成することもできる。

【0023】図4の（A）及び（B）を参照すると、光ファイバ増幅器の利得の不安定さが示されている。両図において、実線は光ファイバ増幅器の総出力パワー（dBm）とレーザダイオードの駆動電流（mA）との関係を表しており、破線はスペクトルのピーク波長（nm）と駆動電流（mA）との関係を表している。

【0024】図4の（A）は図1の光ファイバ増幅器から反射型光デバイス14及び20を取り外したときの特性を示している。フォワードポンピング用のレーザダイオード12には一定の駆動電流を与えておき（フルポンピング）、バックワードポンピング用のレーザダイオード18に与える駆動電流を変化させたときの総出力パワー及びピーク波長の変化の測定結果が示されている。総出力パワー及びピーク波長共に駆動電流が増大するに従って不連続に変化していることがわかる。

【0025】このような利得の不安定が生じるのは、レーザダイオード12及び18の出力光のスペクトルが図3の（A）に示されるように広く、互いに影響を与えているためと考えられる。即ち、レーザダイオード12からドープファイバ2に供給されて光増幅に寄与した後に残ったフォワードポンプ光が光カプラ6を介してポンプ光源10に供給されその影響でレーザダイオード18の発振が不安定になり、また、レーザダイオード18からドープファイバ2に供給され光増幅に寄与した後に残ったバックワードポンプ光が光カプラ4を介してポンプ光源8に供給され、その影響でレーザダイオード12の発振が不安定になっているのである。

【0026】図4の（B）を参照すると、反射型光デバイス14の中心波長と反射型光デバイス20の中心波長とを一致させたときの特性が示されている。具体的には、フォワードポンプ光の波長とバックワードポンプ光の波長は共に 975.0nm に設定された。

【0027】レーザダイオード12によりフルポンピングを行っておき、レーザダイオード18に供給する駆動電流を変化させたときの総出力パワー及びピーク波長の

変化が示されている。

【0028】駆動電流が50mAを超えると相互作用により1020nmの発振が成長し、ポンピング効率が低下していることがわかる。このように、フォワードポンプ光とバックワードポンプ光のスペクトルを狭帯化し且つ波長を一致させた場合、利得の不安定さは顕著となる。

【0029】図5を参照すると、本発明による利得の安定さが示されている。測定データの見方は図4の(A)及び(B)と同じである。フォワードポンプ光の波長は980.0nmに設定され、バックワードポンプ光の波長は975.0nmに設定された。

【0030】レーザダイオード12についてフルポンピングを行っておき、レーザダイオード18へ供給する駆動電流を変化させたときの総出力パワー及びピーク波長の変化が示されている。駆動電流が増大するに従って総出力パワーが連続的に増大しており、安定な利得が得られていることがわかる。

【0031】このようにフォワードポンプ光の波長とバックワードポンプ光の波長を異ならせることによって、ポンプ光源同士の相互作用が抑えられ、光ファイバ増幅器の利得が安定化される。

【0032】図6は本発明の第2実施形態を示す光ファイバ増幅器のブロック図である。フォワードポンピング用のポンプ光源8'として、波長 λ_1 を中心波長として単一モードでレーザ発振するDFB(分布帰還)型のレーザダイオードが用いられ、バックワードポンピング用のポンプ光源10'として、波長 λ_2 を中心波長として単一モードでレーザ発振するDFB型のレーザダイオードが用いられている。

【0033】波長 λ_1 及び λ_2 は第1実施形態におけるのと同じように0.98 μ m帯のポンプ帯域にあり、これらは互いに異なる波長である。本実施形態では、それぞれ単一モード発振する2つのレーザダイオードにより双方向ポンピングを行っているので、反射型光デバイスを用いることなしに利得を安定にすることができる。

【0034】図7を参照すると、光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性(ポンプ光波長依存性)が示されている。縦軸は利得(dB)及び雑音指数(dB)であり、横軸はフォワードポンピング又はバックワードポンピングにおけるポンプ光の波長(nm)である。

【0035】実施形態で用いられているEDF(エルビウムドープファイバ)においては、最低雑音指数を与える波長 $\lambda_{\min NF}$ は980nmであり、最大利得を与える波長 $\lambda_{\max G}$ は975nm及び985nmである。また、実用上十分な利得を得ることができる0.98 μ m帯のポンプ帯域は、965nm乃至995nmにある。

【0036】望ましくは、フォワードポンプ光の波長 λ_1 は $\lambda_{\min NF}$ に等しく設定される。その理由は、信号光の増幅がまだあまりなされていないドープファイバ2の

上流側部分について、低い雑音指数を与える波長のフォワードポンプ光を作用させることによって、低雑音の光ファイバ増幅器の提供が可能になるからである。

【0037】即ち、フォワードポンプ光の波長 λ_1 を980nmに実質的に一致するようにし、バックワードポンプ光の波長 λ_2 が実質的に965nm乃至995nmの範囲にあるようにしておくことによって、利得が不安定になることがなく且つ低雑音な光ファイバ増幅器の提供が可能になる。

【0038】フォワードポンプ光の波長 λ_1 を $\lambda_{\min NF}$ に等しく設定した場合において、バックワードポンプ光の波長 λ_2 を $\lambda_{\max G}$ に等しくしておくことによって、利得が不安定になることがなく、低雑音で且つ高出力な光ファイバ増幅器の提供が可能になる。具体的にはバックワードポンプ光の波長 λ_2 は975nm又は985nmに設定される。

【0039】本発明は、フォワードポンプ光の波長 λ_1 及びバックワードポンプ光の波長 λ_2 が同じポンプ帯域(例えば0.98 μ m帯;965nm-995nm)にあることと、 $\lambda_1 \neq \lambda_2$ であることとだけによって限定される。

【0040】ところで、光ファイバ増幅器を中継器に適用する場合、中継器が海底等に敷設されることから、メンテナンスが困難であり、高信頼性が要求される。双方向ポンピングが適用される光ファイバ増幅器においては、一方のポンプ光源が故障した場合に他方の光源だけを動作させることによって、光ファイバ増幅器に冗長性(redundancy)を持たせることができる。この場合、フォワードポンプ光の波長 λ_1 が与える雑音指数及び利得がそれぞれバックワードポンプ光の波長 λ_2 が与える雑音指数及び利得に実質的に等しくなるようにしておくことによって、一方のポンプ光がパワーダウンしてパワーバランスが変化したとしても、一定の雑音指数或いはゲインチルトを維持することができる。

【0041】例えば図7に示される特性では、利得カーブ及び雑音指数カーブは $\lambda_{\min NF}$ を中心に対称な形状を有しているので、 $\lambda_{\min NF}$ は $(\lambda_1 + \lambda_2)/2$ に実質的に等しい。具体的には、 λ_1 及び λ_2 はそれぞれ975nm及び985nmの一方及び他方である。

【0042】図8を参照して光ファイバ増幅器のゲインチルトを説明する。波長1548, 1551, 1554及び1557nmの4チャネルのWDM信号光を同じ入力パワー(-35dBm/ch)で、ポンピングされているエルビウムドープファイバに入力したときの出力光のスペクトルが示されている。

【0043】縦軸は出力パワー(dBm)であり、横軸は波長(nm)である。Aで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的大きいときに対応しており、負のゲインチルトが生じている。即ち、ゲインの波長微分は負である($dG/d\lambda < 0$)。

10

20

30

40

50

【0044】Cで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的小さいときに対応しており、正のゲインチルトが得られている ($dG/d\lambda > 0$)。Bで示されるスペクトルは、ゲインチルトを生じさせないための最適なポンプ光パワーに対応しており、ゲインの波長微分は0である ($dG/d\lambda = 0$)。

【0045】いずれのスペクトルも、ASE光 (増幅された自然放出光) のなだらかなスペクトルに各チャネルの信号光に対応する4つの鋭いスペクトルが重畳された形状を有している。

【0046】尚、本願明細書においては、このような利得が生じるようにASE光が発生する波長の範囲を利得帯域と称している。光ファイバ増幅器においては、ASE光のスペクトルには小信号に対する利得特性が反映される。従って、ある光ファイバ増幅器が与えられたときに、ASE光をモニタリングすることによってゲインチルトを検出することができる。このモニタリングに基づいて、ゲインチルトが平坦又は一定になるようにフィードバック制御を行うことができる。具体的には次の通りである。

【0047】図9は本発明の第3実施形態を示す光ファイバ増幅器のブロック図である。この光ファイバ増幅器は、図1の第1実施形態と対比して、ドープファイバ2の第1端2Aに動作的に接続され第1端2Aから出力されるASE光を取り出すための光カプラ32と、ASE光を受けドープファイバ2における利得の波長特性であるところのゲインチルトを検出するモニタ34と、検出されたゲインチルトが平坦又は一定になるようにレーザダイオード12及び18の駆動電流の少なくともいずれか一方を制御する制御回路36とを付加的に有している点で特徴付けられる。

【0048】ここで、光学部品同士が動作的に接続されるというのは、ファイバ接続或いはコリメートビームを用いた空間接続により直接接続される場合を含み、更に光フィルタ等の他の光学部品を介して接続される場合を含む。

【0049】光カプラ32は4つのポート32A、32B、32C及び32Dを有しており、これらのうちポート32Dは無反射終端されている。光カプラ32は、ポート32Aに供給された光のほとんど全部をポート32Cから出力し、ポート32Cに供給された光の一部をポート32Bから出力するように機能する。

【0050】ポート32Aは光アイソレータ24の出力ポートに接続され、ポート32Cは光カプラ4のポート4Aに接続される。ゲインチルトモニタ34は、光カプラ32のポート32Bから出力されたASE光を受けこれを第1及び第2の分岐光に分岐して出力する光カプラ (例えば3dBカプラ) 38と、第1の分岐光を供給されドープファイバ2の利得帯域に含まれる第1の通過帯域を有する光帯域通過フィルタ40と、第2の分岐光を

供給され利得帯域に含まれるが第1の通過帯域とは異なる第2の通過帯域を有する光帯域通過フィルタ42と、フィルタ40及び42から出力した光をそれぞれ光/電気変換するフォトディテクタ44及び46とを含む。

【0051】制御回路36は、フォトディテクタ44及び46の出力信号の比が一定 (例えば1:1) になるようにレーザダイオード12及び/又は18の駆動電流を制御する。尚、図1の駆動回路16及び22は制御回路36に含まれている。

10 【0052】図8の利得帯域を例にとると、フィルタ40の第1の通過帯域の中心波長は例えば1540nmに設定され、フィルタ42の第2の通過帯域の中心波長は例えば1560nmに設定される。このように2つの通過帯域により制限されたASE光のパワーの比を検出することによって、ゲインチルトをモニタすることができる。

【0053】フォトディテクタ44及び46の出力電気信号レベルが一定になるようなフィードバック制御を行うことによって、例えば平坦なゲインチルトを得ることができる。

20 【0054】図10を参照すると、図9の制御回路36の具体例が示されている。フォトディテクタ44及び46がフォトダイオードからなる場合、各フォトダイオードに流れる光電流はそれぞれ電圧信号に変換されて除算器48の2つの入力ポートに供給される。

【0055】入力電圧信号の比に対応する除算器48の出力レベルは、演算増幅器50において参照電圧 V_{REF} と比較され、その差分によってレーザダイオード12 (18) が駆動される。符号52は駆動電流を発生するためのパワートランジスタを示している。

30 【0056】この実施形態によると、利得が安定で且つゲインチルトが一定な光ファイバ増幅器の提供が可能になる。このようなゲインチルトを一定にするためのフィードバック制御は、前述した原理から明らかなように、特に、フォワードポンプ光の波長が与える雑音指数及び利得がそれぞれバックワードポンプ光の波長が与える雑音指数及び利得に実質的に等しい場合に有効である。

【0057】即ち、一方のポンプ光源が劣化した場合に、上述の波長設定及びフィードバック制御によりゲインチルトが変化することが防止される。

40 【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、双方向ポンピングにより利得が不安定になることがない光ファイバ増幅器の提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態を示す光ファイバ増幅器のブロック図である。

【図2】反射型光デバイスの特性を示す図である。

50 【図3】ポンプ光源のスペクトルを示す図である。

11

【図4】利得の不安定さを示す図である。

【図5】本発明による利得の安定さを示す図である。

【図6】本発明の第2実施形態を示す光ファイバ増幅器のブロック図である。

【図7】利得及び雑音指数の波長特性を示す図である。

【図8】ゲインチルトの説明図である。

【図9】本発明の第3実施形態を示す光ファイバ増幅器

12

のブロック図である。

【図10】図9の制御回路の回路図である。

【符号の説明】

2 ドープファイバ

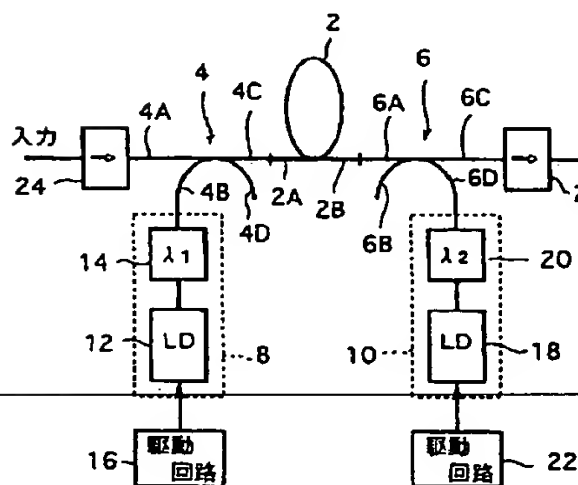
4, 6, 32, 38 光カプラ

8, 8', 10, 10' ポンプ光源

14, 20 反射型光デバイス

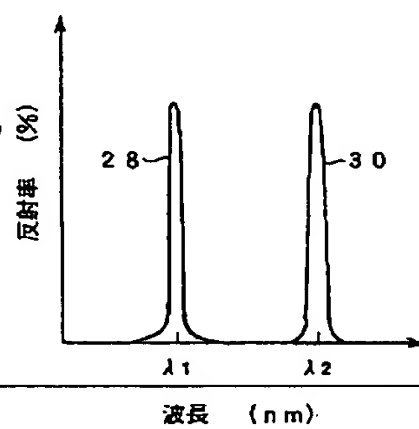
【図1】

第1実施形態を示すブロック図



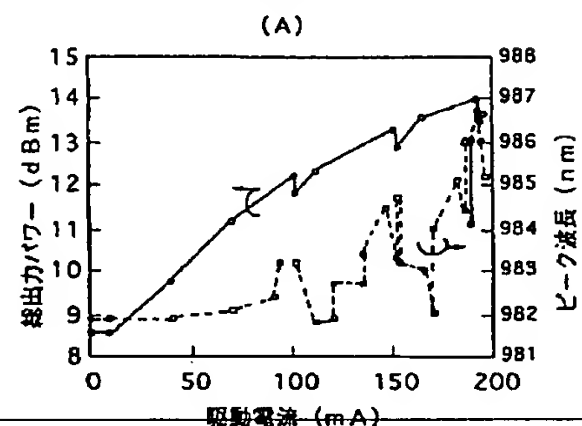
【図2】

反射型光デバイスの特性を示す図



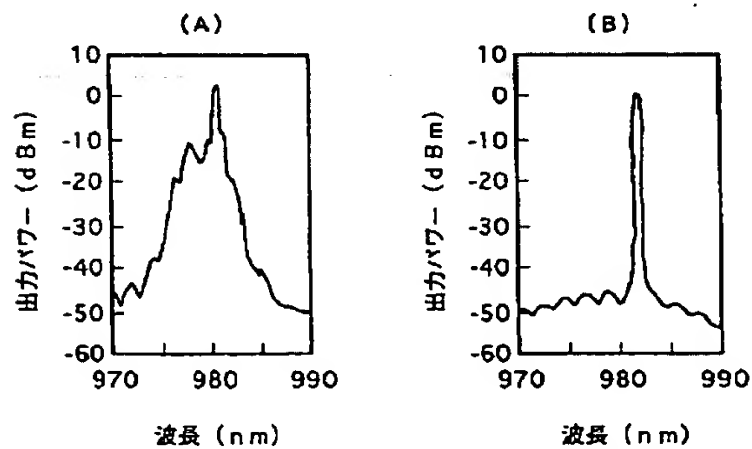
【図4】

利得の不安定さを示す図



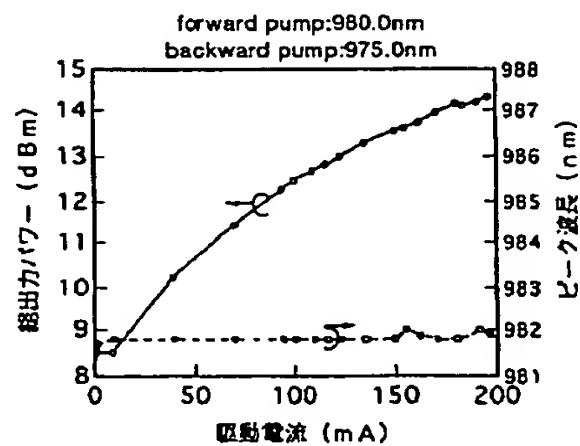
【図3】

ポンプ光源のスペクトルを示す図



【図5】

本発明による利得の安定さを示す図



【図10】

制御回路の回路図

